



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 100 11 892 A 1**

⑤① Int. Cl.⁷:
H 01 S 5/024
H 01 S 5/022
H 01 S 5/40
H 01 L 23/36

⑳ Aktenzeichen: 100 11 892.5
㉔ Anmeldetag: 3. 3. 2000
㉓ Offenlegungstag: 20. 9. 2001

DE 100 11 892 A 1

㉑ Anmelder:
JENOPTIK AG, 07743 Jena, DE

㉒ Vertreter:
Patentanwälte Oehmke & Kollegen, 07743 Jena

㉑ Erfinder:
Lorenzen, Dirk, 07743 Jena, DE; Dorsch, Friedhelm,
65185 Wiesbaden, DE

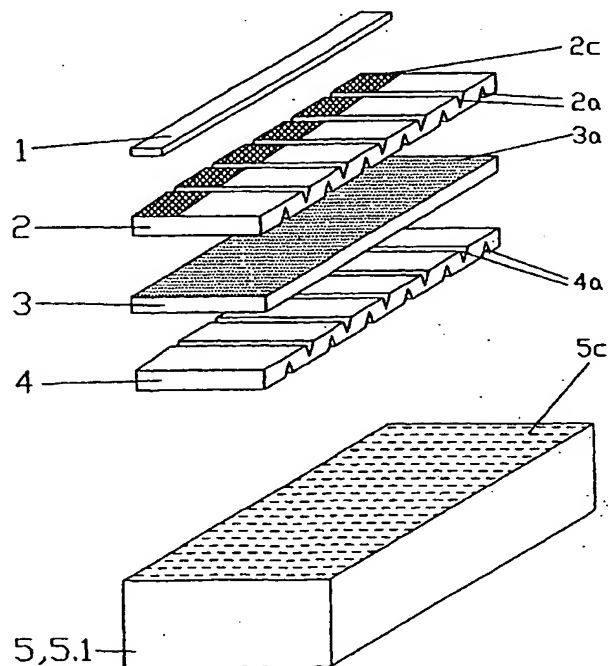
⑤⑥ Entgegenhaltungen:
DE 198 21 544 A1
DE 197 01 680 A1
DE 196 51 528 A1
DE 196 05 302 A1
DE 195 06 093 A1
DE 43 35 512 A1
US 58 48 083 A
US 54 55 738 A
US 53 09 457 A
US 52 99 214 A
EP 08 98 310 A2
EP 05 90 232 A1
WO 94 24 703 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Montagesubstrat und Wärmesenke für Hochleistungsdiodenlaserbarren

⑤⑦ Montagesubstrat und Wärmesenke für Hochleistungsdiodenlaserbarren, wobei das Montagesubstrat aufgrund der Ausdehnungsanpassung an das Halbleitermaterial eine Hartlotmontage des Hochleistungsdiodenlaserbarren ermöglicht. Das Montagesubstrat ist verkrümmungsarm, von höchster Wärmeleitfähigkeit und universell für unterschiedlichste Kühlkörper konduktiver und konvektiver Kühlungsmechanismen einsetzbar.



DE 100 11 892 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Montagesubstrat und eine Wärmesenke für Hochleistungsdiodenlaserbarren, wie sie in ihrer Art aus dem Patent US 5,848,083 bekannt sind.

Hochleistungsdiodenlaserbarren (HDB) sind ausgedehnte Halbleiterlaser-Bauelemente von großer optischer Ausgangsleistung (mittlere Linienleistungsdichten von > 1 Watt/mm Bauelementbreite, etwa 10 bis 100 Watt cw pro Bauelement). Ihr Betrieb erfordert hohe Ströme von einigen 10 bis über 100 Ampere, für die hoch langzeitstabile Hartlote in der Verbindungstechnik zwischen HDB und seinem Träger gegenüber elektromigrationsanfälligen Weichloten bevorzugt werden sollten. Hartlote haben allerdings gegenüber Weichloten den Nachteil, dass sie einen Träger benötigen, dessen lateraler thermischer Ausdehnungskoeffizient (im Fall von ausgedehnten Chips) auf besser als 1 ppm/K auf das Material des HDB, zum Beispiel GaAs, angepasst sein muss, will man den Einfluss schädlicher Montagespannungen auf den HDB vermeiden. Ein solcher Träger heißt ausdehnungsangepasst. Seine Montagefläche sollte eine Ebeneheit von besser als 1 µm/cm aufweisen, um die Strahlförmung des optischen Emissionsprofils des HDB nicht durch eine übermäßige Verkrümmung der emittierenden aktiven Zonen zu verschlechtern.

Thermisch gesehen sind HDB recht empfindlich. Ihre Betriebstemperatur sollte 55° bis 60°C nicht überschreiten, werden Lebensdauern von mehr als 10000 Stunden gefordert. Deswegen werden Träger für HDB als Wärmesenken ausgeführt. Bei einer Effizienz von 50% ist die im Betrieb auftretende Verlustleistung genauso groß wie die optische Leistung, so dass thermische Widerstände von 0,2 bis 0,5 K/W für HDB-Wärmesenken gefordert sind. Prinzipiell bestehen HDB-Wärmesenken aus einem wärmespreizenden Montagesubstrat und einem wärmeabführenden Kühlkörper. Als Material für das Montagesubstrat kommt zum Beispiel Kupfer oder Diamant in Frage. Als Kühlkörper kann ein massiver Kupferblock auf einem Peltier-Element (konduktive Kühlung), ein wasserdurchströmter Mikrokanalkühler (MKK, erzwungene oder aktive konvektive Kühlung) oder ein wasserdampfgefülltes Mikrowärmerohr (Mikroheatpipe (MHP), freie oder passive konvektive Kühlung) dienen. Dabei kann das Montagesubstrat durchaus in den Kühlkörper integriert sein, wie das bei Mikrokanalkühlkörpern (MKWS) der Fall ist. So wurden insbesondere Mikrokanalkühler zur aktiven (erzwungenen) konvektiven Kühlung mit niedrigem thermischen Widerstand entwickelt, und der Einsatz von Montagesubstraten aus höchst wärmeleitfähigem – das heißt den Wärmeleitfähigkeitswert aller bekannten Metalle überschreitend – Material (z. B. Diamant) untersucht. Letzteres allerdings bislang nur mit unbefriedigenden Lebensdauern, weil die auch durch das Weichlot auf den HDB übertragenen Zugspannungen der Lötung für den HDB schädlich sind. Daher wurde schon vielfach nach hoch wärmeleitfähigen Wärmesenken mit Ausdehnungsanpassung gesucht. Verschiedene Anordnungen von zwei oder mehr Materialien mit unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten können eine Ausdehnungsanpassung in wenigstens einer (der größten Abmessung des Lasers parallelen) Richtung erzielen:

- bei lateraler Ausdehnungsanpassung erfolgt eine Schichtung der Materialien parallel zur Achse der ausdehnungsangepassten lateralen (Breiten-)Richtung nebeneinander gereiht. Sie ist annähernd rein bei vertikal dünnen Schichten großer lateraler Breite (EP 0 590 232).
- bei vertikaler Ausdehnungsanpassung erfolgt eine

Schichtung der Materialien senkrecht zur Achse der ausdehnungsangepassten lateralen (Breiten-)Richtung übereinander gestapelt. Sie ist ebenfalls annähernd rein bei vertikal dünnen Schichten großer lateraler Breite (DE 195 06 093, DE 196 05 302, US 5,299,214).

– bei gemischt vertikal-lateraler Ausdehnungsanpassung treten beide Aspekte in Kraft, und zwar dadurch, dass sowohl die ausdehnungsangepasste Richtung in ihrer Erstreckung begrenzt ist, als auch das maximale Aspektverhältnis von Breite zu Dicke der Materialschichten. Dies ist der allgemeine Fall, der bei entsprechender Extremierung der Schichtabmessungen im Grenzfall in die zwei zuvor genannten Arten übergeht. Typische Anordnungen für die deutlich gemischt ausfallende Ausdehnungsanpassung sind

- a) im Fall regelmäßiger Strukturen Unterbrechungen in den Schichten bei vertikaler Anpassung zur Schwächung ihrer mechanischen Relevanz gegenüber durchgehenden Schichten (DE 198 21 544, DE 196 51 528, EP 0 590 232, US 5,848,083, WO 94/24703).
- b) im Fall unregelmäßiger Strukturen die homogene räumliche Verteilung von Teilchen niedriger thermischer Ausdehnung (Aluminiumnitrid, Diamant) in einer Matrix aus einem Material hoher thermischer Ausdehnung (Kupfer, Aluminium) (US 5,455,738, EP 0 898 310).

Der Einsatz von ausdehnungsangepassten Wärmesenkenmaterialien aus CuW, CuMo oder wie in US 5,455,738, aus CuC mit C als Diamant ist nachteilig wegen der immer noch zu niedrigen Wärmeleitfähigkeit und der schwierigen mechanischen Bearbeitbarkeit.

Ein asymmetrisches Zweischichtsystem, das aus durchgehendem Diamant und Kupfer besteht (US 5,299,214), scheidet wegen seiner Krümmungsanfälligkeit von einer Anwendung aus. Mehrschichtsysteme aus Kupfer-Molybdän-Kupfer (DE 196 05 302) und Kupfer-Aluminiumnitrid-Kupfer (DE 195 06 093) sind zwar symmetrisch, verwenden aber noch immer relativ gering wärmeleitende Metallschichten.

In der Folge bezeichnet bei der Bezugnahme auf Montagesubstrate aus einem Mehrschichtsystem die obere Schicht die der Wärmequelle (Diodenlaserbarren) zugewandte Schicht und die untere Schicht die dem Kühlkörper (Metallblock, MKK, MHP) zugewandte Schicht.

In der DE 197 01 680 wird einöffnungsbewährter Diamantkörper mit Ausnehmungen quer den Hauptrichtungen auftretenden Montagestresses zum Abbau von Spannungen vorgestellt. Als Integrationsbeispiel findet sich seine Montage auf einem Mikrokanalkühler. Das Konzept der Ausdehnungsanpassung mit einem solchen Diamantkörper wird nicht vollständig im Zusammenhang mit dem Mikrokanalkühler ausgeführt. Nachteilig an dem Diamantkörper allein ist die noch immer fehlende Ausdehnungsanpassung, nachteilig in seiner Kombination mit einem Kühlkörper ist die nötige individuelle Anpassung der für eine auf die Kühlungstechnik zugeschnittenen Wärmesenke für eine Barrenlötung.

Die in DE 196 51 528 vorgestellten Chipanordnungen basieren auf einem (Kühl-)substrat, auf das über eine Verbindungsvorrichtung aus voneinander beabstandeten Diamantteilen ein HDB gelötet oder gebondet wird. Eine ähnliche Anordnung findet sich auch mit den in DE 198 21 544 vorgestellten Wärmesenken, die an sich schon das für die HDB-Montage nötige ausdehnungsangepasste Bauelement bilden. Beide Anordnungen haben den Vorteil, dass ein zusätzlicher Montageschritt nach dem Lötten des Laserbarrens unterbleiben kann. Nachteilig ist aber die große Anzahl unterschied-

licher Wärmesenken, die je nach Art der Kühlkörper für die HDB-Lötung präpariert werden müssen, sowie das Volumen an Trägermaterial, das für die HDB-Lötung erwärmt werden muss. Nachteilig ist außerdem der mechanisch stark asymmetrische Charakter des Aufbaus, der in seiner Herstellung zu Verkrümmungen neigt.

In EP 0 590 232 wird zum einen ein vertikal einschichtiges Montagesubstrat vorgestellt, das lateral aus alternierenden Schichten von Materialien hoher und niedriger Wärmeleitfähigkeit besteht. Die Dicken dieser Schichten können derart dimensioniert sein, dass das Substrat effektiv über einen lateral an das Halbleitermaterial angepassten Ausdehnungskoeffizienten verfügt. Ein derart mechanisch symmetrisches Substrat ist durchaus verkrümmungsarm, weist aber keinen Kühlkörper für seine dem wärmeerzeugenden Bauelement abgewandten Seite auf. Der unerlässliche Kühlkörper ist aber ein mechanisch einflussreicher Bestandteil jedes HDB-Bauelements.

Zum anderen wird in EP 0 590 232 ein vertikal zweischichtiger Aufbau, bestehend aus einem lateral geschichteten beziehungsweise mit Öffnungen versehenen oder unterteilten Substrat und einem Metallblock, der zur konduktiven Wärmeabfuhr dient, vorgestellt. Dieser Metallblock besitzt durch seine Verbindung mit dem Substrat einen mechanischen Einfluss auf den HDB hinsichtlich Verspannung und Verkrümmung. Der Einfluss der Verspannung kann zwar durch eine geschickte Dimensionierung von Metallblockdicke und Substratdicke, verbunden mit der Anzahl, Lage und Form der Ausnehmungen, minimiert werden; das Problem der Verkrümmung bleibt aber wegen der offensichtlichen mechanischen Asymmetrie des Aufbaus ungelöst.

In US 5,848,083 wird mit einem symmetrischen Dreischichtaufbau des Montagesubstrats ein erster Ansatz zu einer Lösung präsentiert. Er besteht aus mit dem HDB ausdehnungsähnlichen durchgängigen, zwei dünnen oberen und unteren Schichten und einer massiven ("bulk") Schicht in der Mitte, die Öffnungen für den Abbau mechanischer Verbindungsspannungen enthält. Die mittlere Schicht habe dabei einen höheren Ausdehnungskoeffizienten als die beiden äußeren. Alle drei miteinander verbundenen Schichten ergeben ein ausdehnungsangepasstes "mounting modul" oder Montagesubstrat für den Diodenlaserbarren.

Der effektive (über die Montagefläche des HDB gemittelte, während der Montage wirksame) Ausdehnungskoeffizient dieses Montagesubstrats wird im wesentlichen durch die obere und untere durchgängige Schicht bestimmt, und zwar umso mehr, je größer die Öffnungen und ihre Anzahl der Mittelschicht sind. Für die inneren Spannungen dieses Moduls gilt analog: Sie sind umso geringer, je größer die Öffnungen und ihre Anzahl der Mittelschicht sind.

Dieses Substrat hat den Vorteil, dass es erst nach der HDB-Lötung in einen anwendungsspezifischen Kühlkörper integriert werden muss. Nachteilig ist allerdings, dass das erwähnte Substrat noch nicht Bestandteil eines Kühlkörpers ist, der einen mechanischen Einfluss auf den montierten oder zu montierenden HDB ausübt. Es wird zwar erwähnt, dass die spannungsreduzierenden Öffnungen der Mittelschicht auch als Kühlmittelkanäle eines konvektiv kühlenden Kühlkörpers verwendet werden können, ein Realisierungsvorschlag bleibt aber aus.

In diesem Zusammenhang soll auf die zwei wesentlichen aufbau- und betriebstechnisch trennbaren Bestandteile eines konvektiv kühlenden Kühlkörpers hingewiesen werden: Den kühlungsrelevanten Bestandteil und den versorgungsrelevanten Bestandteil. Ersterer beschränkt sich auf die wärmeabfuhrbewerkstellenden Strukturen (Mikrokühlkanäle von aktiv konvektiv kühlenden Kühlkörpern bzw. Mikrodochtstrukturen im Verdampfungsbereich von passiv kon-

vektiv kühlenden Kühlkörpern einschließlich ihren wärme-spreizenden der Wärmequelle zugewandten Deckschichten); letzterer umfasst die kühlmittelführenden bzw. kühlmittelspeichernden Strukturen ohne wärmeabführende Bedeutung (Zu- und Abläufe von aktiv konvektiv kühlenden Kühlkörpern, Mikrodochtstrukturen im Transportbereich und Dampfraum von passiv konvektiv kühlenden Kühlkörpern).

Die Schrift US 5,848,083 bescheidet sich mit der Integration des kühlungsrelevanten Bestandteils eines aktiv konvektiv kühlenden Kühlkörpers in sein Montagesubstrat; die Anbindung an den versorgungstechnisch relevanten Bestandteil wird, obwohl aufbautechnisch bedeutsam, nicht diskutiert. Von aufbautechnischer Bedeutung ist die Abstrahleigenschaft des HDB, die seine Montage an einer Kante beziehungsweise auf einer Stufe erfordern. Eine solche Kante oder Stufe ist zwangsläufig Bestandteil eines ausdehnungsangepassten Montagesubstrats. Ihre Höhe muss ausreichend sein für die Montage einer Kollimationslinse, zumindest aber so hoch, dass eine Reflexion des emittierten Lichts an der Substratoberfläche vermieden wird. In der erwähnten Schrift besitzt die durchgehende Schicht, auf der der HDB montiert wird, in den erwähnten Beispielen eine niedrige Wärmeleitfähigkeit (Mo, CuW). Deswegen muss sie so dünn wie möglich gehalten werden. Darüber hinaus wird eine mögliche Realisierung der durchgehenden Schicht aus Diamant erwähnt. Diesmal sind es nicht thermische Gründe, aus denen eine solche Schicht relativ dünn sein muss, sondern mechanische. In Verbindung mit einer Öffnungsbewährten Mittelschicht aus Kupfer dürfte diese Schicht nur etwa ein Zehntel der Dicke der Mittelschicht besitzen. Besitzt die Mittelschicht Mikrokanäle zur Flüssigkühlung des HDB, so ist für die Mikrokanalstruktur ein Abstand von wenigstens 0,5 mm von der Bauelementkante anzunehmen. Eine solche Wandstärke ist nötig, um den Kühler dicht zu halten, und ist ebenso Bestandteil des ausdehnungsangepassten Montagesubstrats wie die Montagekante für den HDB. Die Dicke der oberen Montageschicht wäre aber in dieser Lösung deutlich geringer als die genannte Wandstärke auszubilden. Ein HDB als Kantenemitter würde damit immer wenigstens teilweise über der kühlmitteldurchlässigen und damit Öffnungslosen Wandung montiert sein. Die in US 5,848,083 erfindungswesentlichen Öffnungen sind aber gerade unterhalb des Laserbarrens nötig, um eine ausdehnungsangepasste Montage zu realisieren.

Werden die Öffnungen in der massiven Mittelschicht beidseitig einer durchgängigen Lage in der Mittelschicht ausgeführt, so kann man das Problem umgehen. Der HDB ließe sich in diesem Fall auf einer Stufe der Höhe der Dicke der oberen Schicht plus der Dicke der oberen Schicht zugewandten Öffnungsbewährten (oberen) Lage der Mittelschicht montieren. Ungünstig an dieser Variante ist im Fall von nahezu ausdehnungsangepassten oberen und unteren Schichten aus CuW oder Mo aus thermischer Sicht die nötige Vergrößerung ihrer Schichtdicken zum Ausgleich des in dieser Ausführungsform gestiegenen mechanischen Einflusses der Mittelschicht. Ungünstig an dieser Variante ist im Fall von kostenintensiven höchst wärmeleitfähigen oberen und unteren Schichten aus Diamant die fehlende thermische Funktion der unteren Schicht des Moduls.

Zusammengefasst sei gesagt: Der Einsatz eines solchen Montagesubstrats nach dem Stand der Technik als Teil eines konvektiv kühlenden Kühlkörpers ist deswegen nachteilig, weil der HDB auf einer bezüglich seiner optischen Abstrahleigenschaften zu dünnen oberen Schicht im Fall von CuW montiert würde und auf einer bezüglich seiner thermischen Anforderungen zu dünnen oberen Schicht im Fall von Diamant montiert würde.

Alle erwähnten bestehenden Lösungen für den Aufbau einer Wärmesenke zur ausdehnungsangepassten Montage eines HDB sind unvollkommen in der Hinsicht, dass ihre mechanischen Eigenschaften und ihre technischen Realisierungen stark von der Art des Kühlkörpers auf der dem HDB abgewandten Seite des Montagesubstrats abhängen. Sowohl bei der rein konduktiven Kühlung (Wärmespreizung), als auch bei der freien konvektiven Kühlung (Siedekühlung) und bei der erzwungenen konvektiven Kühlung (Flüssigkühlung), muss das Montagesubstrat mit dem entsprechenden Kühlkörper verbunden sein oder werden. Die erwähnten Lösungen sind unvollkommen in der Hinsicht, dass Ausdehnungsanpassung und Kühlung aufbautechnisch und mechanisch stark abhängig voneinander sind.

Die Aufgabe der Erfindung ist es, ein Montagesubstrat von höchster Wärmeleitfähigkeit für Diodenlaserbarren zu finden, welches aufgrund seiner Ausdehnungsanpassung an das Halbleitermaterial eine Hartlotmontage ermöglicht. Es ist weiterhin eine Aufgabe der Erfindung, ein verkrümmungsarmes Montagesubstrat von mechanisch annähernd symmetrischen Aufbau zu finden. Es ist darüber hinaus eine Aufgabe der Erfindung, den mechanischen Einfluss der nötigen Kühlkörper auf das Montagesubstrat bei der Integration zur Wärmesenke möglichst gering zu halten.

Schließlich ist es eine Aufgabe der Erfindung, ein universelles Montagesubstrat bereitzustellen, welches für unterschiedlichste Kühlkörper mit konduktiven und konvektiven Kühlungsmechanismen einsetzbar ist.

Diese Aufgaben werden durch ein dreischichtiges Montagesubstrat mit folgendem Aufbau gelöst:

Eine obere und die untere Schicht besitzen einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten, der kleiner ist als der des HDB. Beide Schichten sind mit mechanisch spannungsreduzierenden länglichen Öffnungen bewehrt, die im wesentlichen quer zur HDB-Breitenrichtung orientiert sind, sprich: ihre Längsachsen bilden mit der Barrenbreitenachse einen Winkel von größer 45° und kleiner 135°. Wenigstens die obere, für die HDB-Montage auf ihrer Oberseite vorgesehene Schicht besteht aus einem höchst wärmeleitfähigen Material, um den thermischen Widerstand des Montagesubstrats gering zu halten.

Die mittlere, durchgängige Schicht besteht aus hoch wärmeleitfähigem Material mit einem Ausdehnungskoeffizienten größer als der des Laserbarrens. Vorteilhaft aus thermischer Sicht ist es, das Montagesubstrat von seiner Geometrie und seinen Schichteigenschaften so auszuführen, dass die Dicke der mittleren Schicht geringer ist als die Summe der Dicken der oberen und unteren Schicht.

Hervorzuheben ist, dass die Definition für höchste Wärmeleitfähigkeit ausschließlich Materialien betrifft, deren Ausdehnungskoeffizienten kleiner sind als der von Galliumarsenid.

Die erfindungsgemäße Lösung ermöglicht einen mechanisch annähernd symmetrischen Aufbau entlang der Dickenachse des Schichtsystems und damit die geforderte Verkrümmungsarmut. Sind die obere und die untere Schicht aus denselben Materialien und besitzen die gleichen spannungsreduzierenden Öffnungen spiegelbildlich zur mittleren Schicht an denselben Stellen, so ist der erfindungsgemäße Aufbau mechanisch absolut symmetrisch.

Die erfindungsgemäße Lösung ermöglicht durch die mehrfache Einbringung von Öffnungen in der unteren und oberen Schicht aus höchst wärmeleitfähigem Material zur Ausdehnungsanpassung die Verwendung einer nur relativ dünnen Mittelschicht, deren thermisch nachteiliger Einfluss auf das zu kühlende Bauelement gering gehalten werden kann.

Die mittlere Schicht der erfindungsgemäßen Lösung kann

dabei in ihren lateralen Abmaßen über die obere und untere Schicht hinausgehen. Eine solche Ausführung der mittleren Schicht ist vorteilhaft, wenn sie als Deckschicht für einen konvektiv kühlenden Kühlkörper verwendet wird.

Die Montage eines HDB auf ein erfindungsgemäßes Montagesubstrat kann vor der Verbindung des Montagesubstrats mit einem gewünschten Kühlkörper erfolgen. Aus produktionstechnischer Sicht ist diese Lösung deswegen vorteilhaft, weil mit ein- und demselben Montagesubstrat in Kombination mit unterschiedlichen Kühlkörpern unterschiedliche anwendungsspezifische Wärmesenken realisiert werden können und damit dem Montagesubstrat eine Universalität im Einsatz zukommt. Insbesondere dann, wenn die untere Schicht des Montagesubstrats ebenfalls aus einem Material höchster Wärmeleitfähigkeit ist.

Die Dicke der oberen Schicht des erfindungsgemäßen Montagesubstrats kann wegen ihrer höchsten Wärmeleitfähigkeit so groß ausgeführt werden, dass sie den halben Durchmesser einer zu Kollimation des austretenden Laserlichts verwendeten Linse übersteigt. Damit kann eine solche Linse auf der über die obere Schicht hervorstehenden mittleren Schicht montiert werden.

Zur konduktiven Kühlung der dem HDB abgewandten Seite des erfindungsgemäßen Montagesubstrates kann an der Unterseite als Kühlkörper ein wärmeleitfähiger Metallträger angebracht werden. Dies geschieht vorzugsweise nach der Montage des HDB auf das Montagesubstrat mit einem Lot, das niedriger schmelzend ist, als das Lot für die Montage des HDB. An dieser Stelle kann ein hochplastisches Weichlot verwendet werden, so dass eine Wechselwirkung der thermomechanischen Eigenschaften zwischen dem Metallträger und dem Montagesubstrat weitgehend unterbunden wird. Damit werden bei diesem zweiten Montageschritt keine wesentlichen zusätzlichen mechanischen Spannungen auf den HDB ausgeübt, noch eine deutliche Verkrümmung.

Zur konvektiven Kühlung können die Öffnungen in der unteren Schicht derart ausgeführt werden, dass sie ein Kühlmittel aufnehmen können:

im Falle der Siedekühlung fungieren die Öffnungen als kapillare Transport- und Verdampfungskanäle für die Kühlflüssigkeit. Zur Freihaltung eines Dampfkanals bleibt die Unterseite der unteren Schicht unkontaktiert. Nur die mittlere Schicht wird an ihrem Rand mit dem Kühlkörper verbunden, welcher in diesem Fall ein offenes Wärmerohr ist und mit dem Montagesubstrat seine Verdampfungskanäle erhält und verschlossen wird. Ein thermomechanischer Einfluss auf den HDB ist bei dieser Verbindungstechnik minimal.

Im Falle der Flüssigkühlung fungieren die Öffnungen als Mikrokanäle mit einem Wärmeübergang von ihren Wänden in die vorbeiströmende Flüssigkeit. Da der Wärmeübergang an den Innenseiten der Öffnungen erfolgt, kann in diesem Fall das Montagesubstrat mit einem in Raumtemperatur aushärtenden Kleber in den Kühlkörper eingeklebt werden, ohne dass der Kühlvorgang nachteilig beeinflusst wird. Vorteilhaft ist die Klebung zur Reduzierung der thermomechanischen Wechselwirkung zwischen Kühlkörper und Montagesubstrat.

Für Kühlkörper zur konvektiven Kühlung ist der kühlungsrelevante Bestandteil (Verdampfung aus Mikrokapillaren, erzwungener Wärmeübergang in Mikrokanäle) bereits in das Montagesubstrat integriert. Damit sind mechanisch und thermisch höchst einflussreiche Bestandteile des Kühlkörpers (Bereich des konvektiven Wärmeübergangs, Deck- oder Verschlusschicht des Kühlkörpers), auch bereits Bestandteile des ausdehnungsangepassten Montagesubstrats. Eine Verbindung des Montagesubstrats mit dem thermisch

bedeutungslosen versorgungsrelevanten Bestandteil des Kühlkörpers zur konvektiven Kühlung kann über eine die mechanische Wechselwirkung mindernde Lötung oder Klebung erfolgen. Die thermische Leitfähigkeit dieser Verbindung spielt dabei keine Rolle. Ebenso spielt wegen der aufbautechnischen Trennung von kühlungsrelevanten und versorgungsrelevanten Bestandteilen des Kühlkörpers die thermische Leitfähigkeit des versorgungsrelevanten Bestandteils keine große Rolle mehr. Er kann im wesentlichen nach mechanischen Gesichtspunkten ausgewählt werden.

Nachfolgend soll die Erfindung an Hand von drei Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. Dazu zeigen die Figuren:

Fig. 1 ein erstes Ausführungsbeispiel für ein Montagesubstrat und einen Kühlkörper zur konduktiven Kühlung in Explosivdarstellung

Fig. 2 ein zweites Ausführungsbeispiel für ein Montagesubstrat und einen Kühlkörper zur konvektiven Kühlung in Explosivdarstellung und

Fig. 3 ein drittes Ausführungsbeispiel für ein Montagesubstrat und einen Kühlkörper zur konvektiven Kühlung in Explosivdarstellung

Das in **Fig. 1** dargestellte erste Ausführungsbeispiel umfasst das Montagesubstrat, im wesentlichen bestehend aus einer oberen Schicht 2, einer unteren Schicht 4, beide bestehend aus Diamant mit 300 µm Dicke, 10 mm Breite und 3 mm Länge und einer mittleren Schicht 3, einen LDB 1 und einen Kühlkörper 5. In die zwei Schichten 2 und 4 sind mittels eines Lasers längliche Öffnungen 2a und 4a eingebracht, die in diesem Ausführungsbeispiel Nuten darstellen, die, zueinander versetzt angeordnet, die Schicht bis zu etwa 2/3 der Schichtdicke tief über deren gesamte Länge einschneiden. Beide Schichten 2 und 4 sind komplett mit einer lötbaren Metallisierung beschichtet. Die mittlere Schicht 3 ist eine durchgängige Schicht, bestehend aus Kupfer von 300 µm Dicke, 10 mm Breite und 3 mm Länge und ist beidseitig mit einem hoch goldhaltigen Hartlot 3a versehen. Alle drei Schichten 2, 3 und 4 werden in einem ersten Lötprozess miteinander verbunden und bilden das für die HDB-Montage ausdehnungsangepasste Montagesubstrat. Dieses wird in einem galvanischen Prozess mit Gold auf eine nötige Leiterdicke verstärkt, um die im HDB-Betrieb herrschenden hohen elektrischen Ströme zu führen. Anschließend wird auf die Oberseite des Montagesubstrats ein zweites Lot 2c aufgebracht, das der Lötung eines HDB 1 auf das Montagesubstrat in einem zweiten Lötprozess dient.

Als Kühlkörper 5 zur konduktiven Kühlung dient ein wärmeleitfähiger Metallträger, hier speziell ein Kupferblock 5.1, der an seiner Unterseite ein oder mehrere Peltier-Elemente zur Wärmeabfuhr tragen kann. Auf diesen Kupferblock 5.1 wird an der dafür vorgesehenen Stelle ein drittes Lot 5c aufgebracht, vorzugsweise ein sehr plastisches Weichlot. Dort wird das Montagesubstrat in einem dritten Lötprozess angelötet.

Das erfindungsgemäße Montagesubstrat und der Kühlkörper 5 zur konduktiven Kühlung bilden zusammen eine erfindungsgemäße HDB-Wärmesenke.

Eine Variante der ersten Ausführungsform besteht in der Verwendung eines abgeschlossenen – frei oder erzwungen – konvektiv kühlenden Kühlkörpers, anstatt des massiven Kupferblocks. Eine solche Variante ist vorteilhaft aus der Sicht der Gewichts- und Volumensparnis für die Wärmesenke und ermöglicht die Stapelbarkeit.

Das in **Fig. 2** dargestellte zweite Ausführungsbeispiel unterscheidet sich gegenüber dem ersten im wesentlichen durch die Verwendung eines Kühlkörpers zur passiven konvektiven Kühlung und einer sich daraus ergebenden anderen Struktur der oberen und unteren Schicht 2 und 4. Die obere

und untere Schicht 2 und 4 sind aus Diamant und von 200 µm Dicke, 10 mm Breite und 4 mm Länge und weisen ausgehend von den Breitseiten der Schichten parallel zur Längsachse der Schichten wechselseitig über 4/5 der Länge der Schicht durch die Schicht geschnittene Kanäle als längliche Öffnungen 2a und 4a auf. Die mittlere Schicht 3 ist eine durchgängige Schicht aus Kupfer von 100 µm Dicke, 14 mm Breite und 8 mm Länge und wird beidseitig mit einer Schicht Aktivlot 3a versehen. Alle drei Schichten 2, 3 und 4 werden in einem ersten Lötprozess derart miteinander verbunden, dass die beiden Schichten 2 und 4 mittig je auf einer Seite der mittleren Schicht 3 platziert sind. Das gelötete Dreischichtsystem bildet das für die HDB-Montage ausdehnungsangepasste Montagesubstrat. Auf die Oberseite des Montagesubstrats wird eine für die Stromleitung nötige Schichtdicke Gold aufgesputtert, sowie ein zweites Lot 2c, vorzugsweise ein hoch goldhaltiges Hartlot, das der Lötung des HDB 1 in einem zweiten Lötprozess dient.

Als versorgungsrelevanter Bestandteil und Kühlmittelbehälter eines Kühlkörpers 5 zur passiven konvektiven Kühlung dient ein noch unbefülltes, offenes Wärmerohr aus Kupfer mit einer unvollständigen Kapillarstruktur. Kapillarstruktur und Kühlkörper 5 werden vervollständigt durch die untere Diamantschicht 4 des Montagesubstrats, in die von den zwei Breitseiten Verdampfungsflüssigkeit kapillarisch in die länglichen Öffnungen 4a aufgesogen werden kann und die als Deckschicht fungierende mittlere Schicht 3 des Montagesubstrats. Der Kühlkörper 5 wird durch Einsatz des Montagesubstrats mit Klebung über eine Kleberschicht 5c entlang des freien Kupferrandes der Öffnung zum Dampfraum 5d des Wärmerohrs an der Unterseite der Kupfer-Mittelschicht verschlossen, anschließend befüllt und abgedichtet. Aus den länglichen Öffnungen 4a in der unteren Diamantschicht 4 kann die Flüssigkeit bei Wärmeaufnahme verdampfen.

Das erfindungsgemäße Montagesubstrat bildet mit dem Kühlkörper 5 zur passiven konvektiven Kühlung eine erfindungsgemäße Wärmesenke.

Eine Variante der zweiten Ausführungsform besteht darin, die untere Diamantschicht 4 des Montagesubstrats durch eine Schicht aus Silizium zu ersetzen. Silizium lässt andere Mikrostrukturgeometrien zu und verfügt über andere Benetzungseigenschaften. Beide Aspekte können zu einer Verbesserung der Kühleigenschaften der Wärmesenke führen.

Das in **Fig. 3** dargestellte dritte Ausführungsbeispiel unterscheidet sich gegenüber den vorhergehenden Ausführungsbeispielen durch Verwendung eines Kühlkörpers zur aktiven konvektiven Kühlung und einer sich daraus ergebenden anderen Struktur der oberen und unteren Schicht 2 und 4.

In der oberen Schicht 2, bestehend aus Diamant, von 300 µm Dicke, 10 mm Breite und 3 mm Länge sind die länglichen Öffnungen 2a ausgehend von jeweils einer Breitseite der Schicht parallel zur Längsachse der Schicht einseitig über 7/8 der Länge der Schicht als durch die Schicht geschnittene Kanäle ausgebildet. Das teilweise unzerschnittene 1/4 der Länge der oberen Schicht 2 wird quer zu den Kanälen auf etwa die Hälfte seiner Dicke abgedünnt. Dieser dünne Verbindungssteg 2b dient als Bruchstelle zur Vereinzelung der entstandenen Diamantfingerstruktur in entsprechende unverbundene Teilschichten nach der Verbindung mit der mittleren Schicht 3.

In der unteren Schicht 4, bestehend aus Silizium, von 400 µm Dicke, 10 mm Breite und 5 mm Länge sind als längliche Öffnungen 4a einhundert Kanäle 4a von 50 µm Breite und 300 µm Tiefe mittels anisotropen Ätzens eingebracht (Mikrokanalstruktur). Die untere Schicht 4 wird auf ihrer

durchgängigen Seite – mit der für eine Lötung nötigen Schichtdicke Gold besputtert, die Schicht 2 zusätzlich auf ihrer Oberseite. Die mittlere Schicht 3 besteht aus Silber von 200 µm Dicke, 12 mm Breite und 7 mm Länge, ist durchgängig und wird beidseitig mit einer Schicht Hartlot 3a versehen. Alle drei Schichten 2, 3 und 4 werden in einem ersten Lötprozess derart miteinander verbunden, dass die untere Schicht 4 in vertikaler Richtung auf der einen Seite mit der oberen Schicht 2 abschließt und auf der anderen Seite 2 mm über die obere Schicht 2 vorsteht. Der Verbindungssteg 2b, der auf einer Breitseite noch die Diamantfingerstruktur verbunden hält, wird an den Sollbruchstellen abgebrochen. Das gelötete Dreischichtsystem bildet das für die HDB-Montage ausdehnungsangepasste Montagesubstrat. Auf die Oberseite des Montagesubstrats wird eine für die Stromleitung nötige Schichtdicke Gold galvanisch aufgebracht, sowie ein zweites Lot 2c, vorzugsweise ein hoch goldhaltiges Hartlot, aufgesputtert, das der Lötung des HDB 1 auf das vordere Ende der oberen Schicht 2 in einem zweiten Lötprozess dient. Da die untere Schicht 4 über das vordere Ende der oberen Schicht 2 vorsteht, kann eine Wärmespreizung und Kühlung auch in Emissionsrichtung des HDB 1 erfolgen.

Als versorgungsrelevanter Bestandteil eines Kühlkörpers 5 zur aktiven konvektiven Kühlung dient ein flacher etwa 1,5 mm hoher strukturierte Kühlkörper 5 aus rostfreiem Stahl zur Kühlmittelführung mit Kühlmittel-Ein- und -Auslässen 5b. Die kühlungsrelevanten Bestandteile des Kühlkörpers 5 zur aktiven Kühlung, die Mikrokanalstruktur zur Vergrößerung der wärmeeintragenden Oberfläche, werden bereitgestellt durch die untere Schicht 4 des Montagesubstrats, deren vordere Breitseite beispielsweise als Kühlmittelleinlauf in die Mikrokanalstruktur und deren hintere Breitseite als Kühlmittelablauf dienen kann. Der Einbau des Montagesubstrats in die Kühlkörper 5 erfolgt durch eine Klebung mit einer Kleberschicht 5c, bei der die über die untere Schicht 4 hervorragenden Ränder der mittleren Schicht 3 mit dem Rand des Stahlträgers verklebt werden, und zur Erhöhung der Stabilität auch die Unterseite der unteren Schicht 4 mit der gegenüberliegenden Oberfläche 5a des Kühlkörpers 5. Das erfindungsgemäße Montagesubstrat bildet mit dem Kühlkörper 5 zur aktiven konvektiven Kühlung eine erfindungsgemäße Wärmesenke.

Eine Variante der dritten Ausführungsform besteht darin, die untere Schicht 4 anstelle aus Silizium aus Diamant auszuführen mit der gleichen Geometrie wie die obere Schicht 2 des Montagesubstrats. Vorteilhaft ist diese Variante deshalb, weil sie einen thermo-mechanisch vollständig symmetrischen Aufbau ermöglicht.

Die angeführten Ausführungsbeispiele geben nur einen kleinen Auszug aus einer Vielzahl von erfindungsgemäßen Realisierungsmöglichkeiten des Montagesubstrats und einer dieses Montagesubstrats beinhaltenden Wärmesenke wieder. Es sind eine Reihe anderer Anordnungen mit erfindungsgemäßem Merkmal denkbar.

Insbesondere kann einerseits die mittlere Schicht 3 aus einer Mehrzahl von Unterschichten bestehen, die ihrerseits wiederum zum Teil spannungsreduzierende Öffnungen enthalten können. Erfindungswesentlich ist, dass der im Mehrschichtverbund resultierende thermische Ausdehnungskoeffizient der mittleren Schicht größer ist als der des Laserbarrens.

Andererseits können die oberen und unteren, mit länglichen Öffnungen bewährten Schichten 2 und 4, auf ihrer Ober- bzw. Unterseite weitere Schichten (Lotpreforms, Diffusionsschichten oder Dickschichtleiter) tragen, deren mechanischer Einfluss auf die erfindungsgemäße ausdehnungsanpassende Wirkung des Montagesubstrats vernachlässigbar ist und die im wesentlichen fügetechnische und elektri-

sche Funktionen tragen. So ließe sich zum Beispiel die auf die Oberseite der oberen Schicht 2 galvanisch aufgebrachte Stromführungsschicht aus Gold ersetzen durch einen angelöteten, durchgängigen Kupferfilm, dessen elektrische und thermische Eigenschaften die von Gold noch überragen.

Patentansprüche

1. Montagesubstrat für Hochleistungsdiodenlaserbaren (HDB) (1), bestehend aus einer oberen Schicht (2), die als Montagefläche für den HDB (1) dient, einer mittleren Schicht (3) und einer unteren Schicht (4), die als Montagefläche für einen Kühlkörper (5) dient oder kühlungsrelevanter Bestandteil eines Kühlkörpers (5) ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die obere Schicht (2) und die untere Schicht (4) aus Materialien bestehen mit einem thermischen Ausdehnungskoeffizienten, der kleiner ist als der des HDB (1) und in diesen längliche Öffnungen (2a, 4a) vorhanden sind, die im wesentlichen quer zur Barrenbreitenrichtung orientiert sind, und wenigstens die obere Schicht (2) aus einem Material höchster Wärmeleitfähigkeit besteht und die mittlere Schicht (3) aus einem Material oder einem Gefüge von Materialien besteht, dessen thermischer Ausdehnungskoeffizient größer ist als der des HDB (1).
2. Montagesubstrat nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die mittlere Schicht (3) dünner ist als die Summe der Schichtdicken der oberen Schicht (2) und der unteren Schicht (4).
3. Montagesubstrat nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die länglichen Öffnungen (2a) der oberen Schicht (2) längs der Resonatoren des zu montierenden HDB (1) eingebracht und periodisch auf den Emitterabstand im HDB (1) abgestimmt sind.
4. Montagesubstrat nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass auch die länglichen Öffnungen (4a) der unteren Schicht (4) längs der Resonatoren des zu montierenden HDB (1) eingebracht und periodisch auf den Emitterabstand im HDB (1) abgestimmt sind.
5. Montagesubstrat nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die mittlere Schicht (3) aus Kupfer besteht.
6. Montagesubstrat nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die obere Schicht (2) aus Diamant besteht.
7. Montagesubstrat nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die obere Schicht (2) und die untere Schicht (4) aus demselben Material bestehen.
8. Montagesubstrat nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die mittlere Schicht (3) größere laterale Abmaße besitzt als die obere Schicht (2) und die untere Schicht (4).
9. Wärmesenke zur Kühlung eines HDB mit einem Montagesubstrat und einem Kühlkörper (5), dadurch gekennzeichnet, dass das Montagesubstrat einem der Ansprüche 1 bis 8 entspricht.
10. Wärmesenke nach Anspruch 9 dadurch gekennzeichnet, dass die länglichen Öffnungen (4a) als Kapillaren für die zu verdampfende Flüssigkeit dienen und der Kühlkörper (5) ein Kühlkörper zur passiven konvektiven Kühlung ist.
11. Wärmesenke nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die länglichen Öffnungen (4a) als Mikrokanäle für das durchströmende Kühlmedium dienen und der Kühlkörper (5) ein Kühlkörper zur akti-

von konvektiven Kühlung ist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

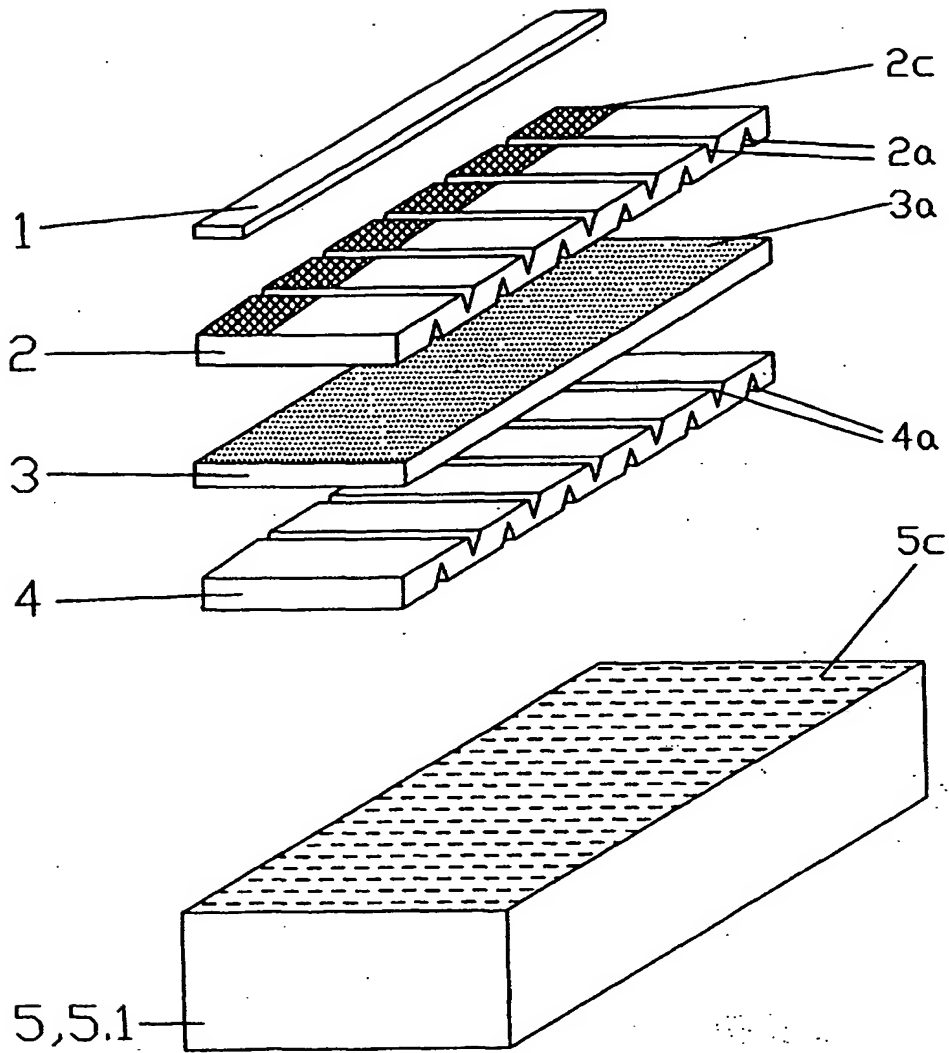


Fig. 1

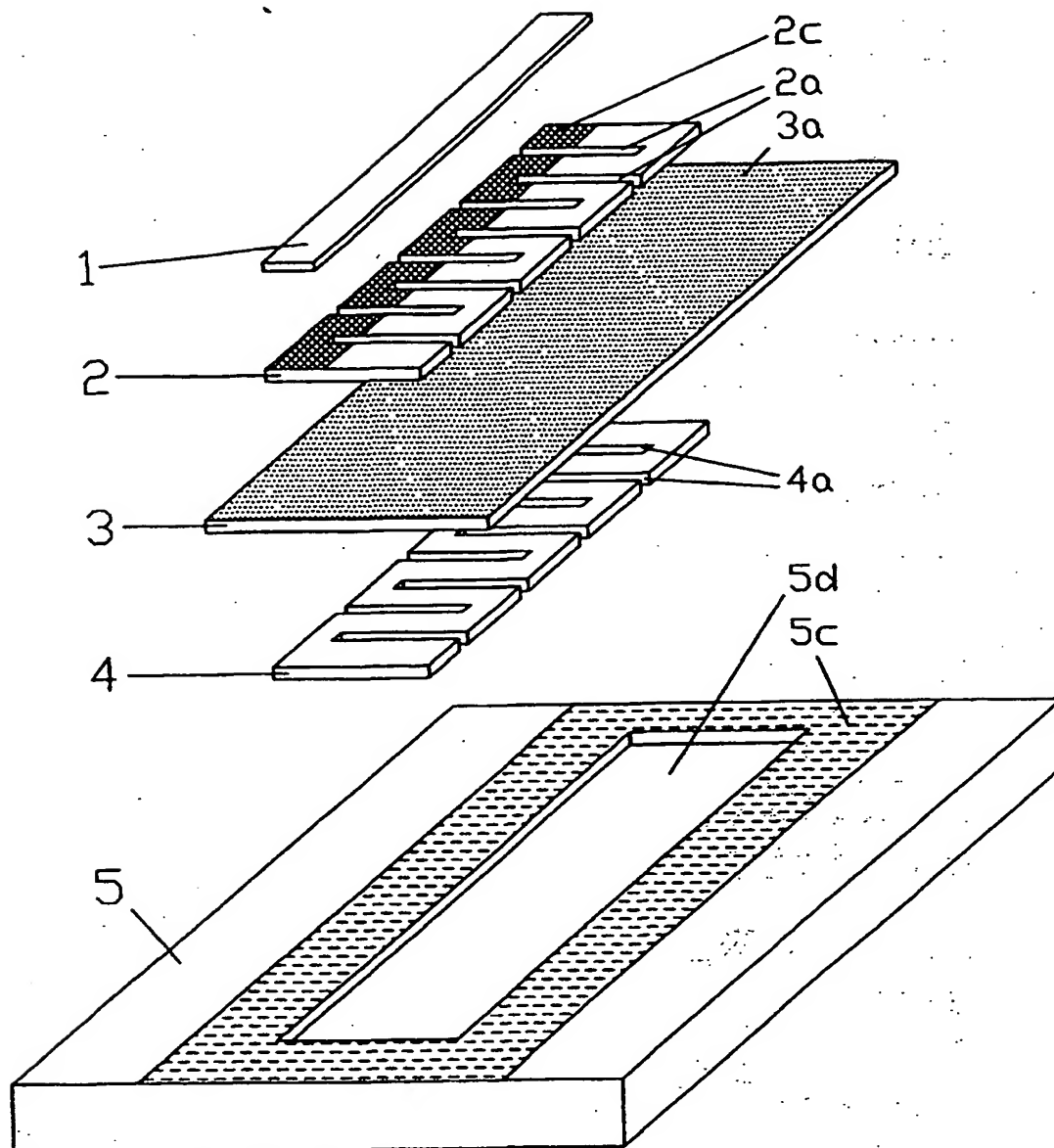


Fig. 2

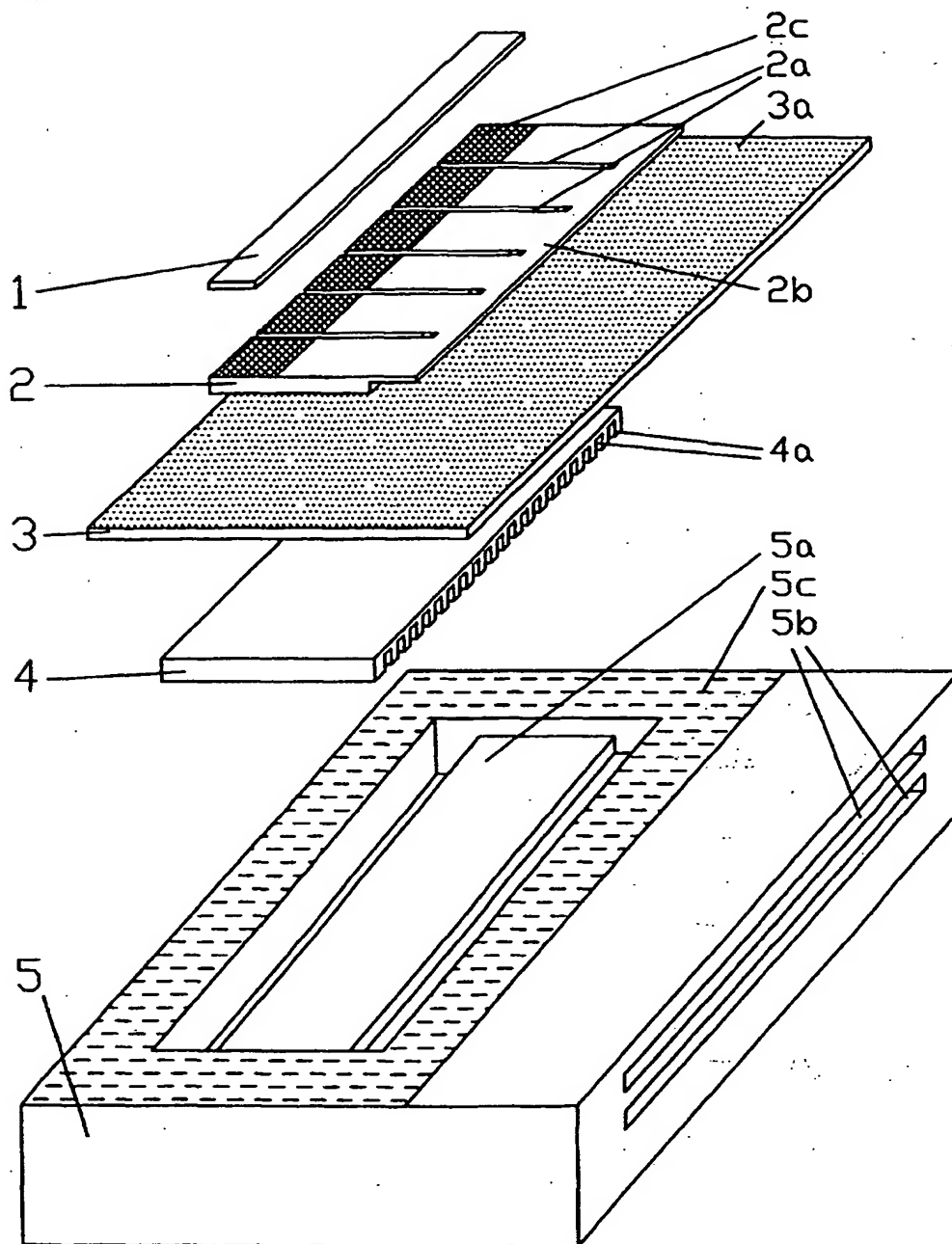


Fig. 3